

Mit der Power der Sonne Schadstoffe zersetzen

Gesundheitlich unbedenkliche Schülerexperimente mit TiO₂ im Kontext der Leitlinie BNE



Diana Zeller, Julian Venzlaff, Kaltrina Kosumi, Claudia Bohrmann-Linde

zeller@uni-wuppertal.de

Einführung

In der experimentellen Chemiedidaktik sind Titandioxid-Nanopartikel eine beliebte Chemikalie für Schülerexperimente rund um innovative Forschungs- und Alltagsanwendungen [1-4]. Nach der Einstufung von Titandioxid als „wahrscheinlich krebserzeugend beim Einatmen“ (H351) in 2019 wurde im November 2022 diese vom *Europäischen Gerichtshof (EuGH)* widerrufen. So lägen keine zuverlässigen Untersuchungen zugrunde und außerdem könne ein Stoff nur als krebserregend eingestuft werden, wenn diese Eigenschaft intrinsisch vorliege [5]. Aktuell muss Titandioxid als Nanopulver weiterhin als krebserregend beim Einatmen gekennzeichnet werden, sodass es einen inhalativen Kontakt in Schülerexperimenten zu vermeiden gilt. Im Folgenden werden daher mögliche Lösungsansätze für einen gesundheitlich unbedenklichen Einsatz von Nano-Titandioxid aufgezeigt.

Immobilisierung von Nano-Titandioxid

Durch die Verwendung von Nanopartikeln bei offenen Versuchsaufbauten besteht die Gefahr, dass die Lernenden diese inhalativ aufnehmen. Aus diesem Grund wurde in der Masterarbeit von Kaltrina Kosumi die Immobilisierung des Titandioxid-Nanopulvers durch die Entwicklung einer Matrix angestrebt. Die Titandioxid-Matrix basiert auf einer Stärke-/PVA-Folie, die in wenigen Schritten hergestellt werden kann (Anleitung siehe [6]).

Die Titandioxid-Folie hat eine glatte, glänzende Struktur und ist zudem formbar und biegsam. Neben der photokatalytischen Eigenschaft zeigt die Folie in der Wärmebildkamera bei Bestrahlung mit UV-Licht eine Wärmeentwicklung (Abb. 1) [7]. Zu erkennen ist nach der Bestrahlung auch eine Blaufärbung der Folie. Diese Beobachtung zeugt von der Photoaktivität, denn ohne Bestrahlung und in Gegenwart von Luftsauerstoff ist die Phototropie reversibel [8]. Aufgrund ihrer Flexibilität kann die Titandioxid-Folie in die unten beschriebenen Aufbauten für die photokatalytische Zersetzung eingesetzt werden.

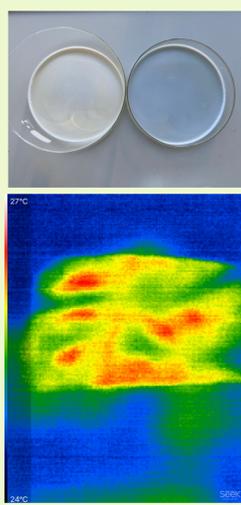


Abb. 1: Oben: Folien vor/nach der Bestrahlung mit UV-Licht, Unten: Wärmebildkameraaufnahme der mit UV-Licht bestrahlten Folie (Fotos: Kaltrina Kosumi)

Photokatalyt. Zersetzung von Luftschadstoffen

Bei der Photokatalyse können durch die durch Strahlung induzierte Ladungstrennung an einem Halbleiter-Partikel Redoxreaktionen stattfinden, die eine Zersetzung von Schadstoffen an der Partikeloberfläche ermöglichen. Diese photokatalytischen Eigenschaften können bspw. in Wandfarbe eingesetzt werden, um den Abbau atmosphärischer Luftschadstoffe, z. B. Stickoxide zu ermöglichen [9;10].

Zu der Zersetzung von atmosphärischen Schadstoffen in Gegenwart von nanoskaligem Titandioxid ist bereits eine Experimentierreihe publiziert worden [3]. Mit Blick darauf, dass Lernende aber nicht in den Kontakt mit dem Nanopulver kommen sollen und auch der Kontakt mit Stickoxiden möglichst gering ausfallen soll, wurden die Versuche dahingehend optimiert und in ihrem Aufbau vereinfacht [6]. Mithilfe von Medizintechnik werden die Stickoxide bei der Entwicklung direkt in eine Spritze und dann für das Bestrahlen und den Nachweis der Stickoxide mit dem Saltzman-Reagenz in Schnappdeckelgläser überführt (vgl. Abb. 2).

Wie in Abb. 3 deutlich wird, nimmt die NO_x-Konzentration bereits ohne Bestrahlung deutlich ab, da eine bestimmte Gasmenge am Titandioxid adsorbiert vorliegt [11]. Dennoch zeigen die Ergebnisse, dass die Bestrahlung in Gegenwart des Photokatalysators zu einer Reduktion der Stickoxide führt.

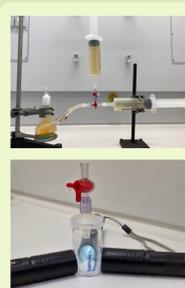


Abb. 2 Herstellung der Stickoxide (oben), Bestrahlung der Stickoxide mit UV-Licht in Gegenwart von Titandioxid (unten)



Abb. 3 Nachweis der verschiedenen Proben mit Saltzman-Reagenz sowie mit Nitrit-Stäbchen (links, Mitte), Absorptionskurven der drei Proben (rechts)

Anknüpfungspunkte zur Leitlinie BNE

Nicht nur die experimentellen Modellversuche mit Titandioxid, sondern auch die Diskussion um seine Einstufung als Gefahrstoff sind ein passender didaktischer Anker für die Leitlinie BNE im Chemieunterricht. Im *Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung* wurden von der KMK drei Kompetenzbereiche festgelegt (Abb. 4): Insbesondere die Kernkompetenz **Erkennen** kann durch eine informationskritische Erörterung der Debatte rund um Titandioxid gefördert werden [12]. Da die politische Diskussion über die Einstufung von Titandioxid noch nicht abgeschlossen ist, wird Lernenden an diesem Beispiel eine fachliche Auseinandersetzung mit bestehenden Unsicherheiten und die Einnahme einer multiperspektiven Sichtweise ermöglicht. Somit wird auch die Informationsbewertungskompetenz der Lernenden gefördert und damit eine Verknüpfung zu den digitalisierungsbezogenen Kompetenzen der KMK hergestellt [13].

Erkennen	1. Informationsbeschaffung und -verarbeitung 2. Erkennen von Vielfalt 3. Analyse des globalen Wandels 4. Unterscheidung von Handlungsebenen
Bewerten	5. Perspektivenwechsel und Empathie 6. Kritische Reflexion und Stellungnahme 7. Beurteilen von Entwicklungsmaßnahmen
Handeln	8. Solidarität und Mitverantwortung 9. Verständigung und Konfliktlösung 10. Handlungsfähigkeit im globalen Wandel 11. Partizipation und Mitgestaltung

Abb. 4 Kernkompetenzen des Lernbereichs Globale Entwicklung [12]



Abb. 5 Weitere SDGs

Gleichzeitig bieten die Modellversuche die Möglichkeit, über die Konsequenzen eines Einsatzes von Nanopartikeln in Wandfarbe zu diskutieren. In Hinblick auf die Reduktion von Luftschadstoffen und die verbundenen gesundheitlichen Folgen muss der Nutzen von Titandioxid-Nanopartikel zu den Risiken durch den Umwelteintrag abgewogen werden. Unter diesem Aspekt bietet sich im Unterricht die Anknüpfung an zwei weitere SDGs an, die in der didaktischen Reihe nicht explizit angesprochen werden (Abb. 5).

Didaktische Reihe zur SDG 13

Zu den auf dem Poster vorgestellten Versuchen wurde zusammen mit einem Modellversuch zur Photoreformierung [JV] eine didaktische Reihe in Anknüpfung an die SDG 13 **Maßnahmen zum Klimaschutz** gestaltet. Die Inhalte der didaktischen Reihe können an die Themen Katalyse und Nanomaterialien im Chemieunterricht angeknüpft werden.

In der Reihe liegt der Fokus auf der Vertiefung der gesellschaftlichen Zusammenhänge zu jedem Versuch entlang der im *Orientierungsrahmen* festgelegten Kompetenzbereiche **Erkennen**, **Bewerten** und **Handeln**. Für jeden Modellversuch wurden deshalb zusätzliche Aufgaben zu den drei Kompetenzbereichen entwickelt, die entsprechend farblich gekennzeichnet sind (vgl. Abb. 6).

So setzen sich die Lernenden im ersten Arbeitsblatt mit verschiedenen Aussagen über die Gefährlichkeit von Titandioxid auseinander und stärken gleichzeitig ihre **Informationsbewertungskompetenz** durch den Blick auf die Intentionen der Autor*innen. Im Zweiten steht die Reduzierung von Luftschadstoffen durch den Einsatz photokatalytischer Wandfarbe im Vordergrund. Dabei sollen die Lernenden einerseits den Nutzen der Nanopartikel und die gleichzeitige Gefährdung für die Umwelt gegeneinander abwägen. Andererseits sollen sich die Lernenden ein Bild von den Ursachen für die Entstehung von Stickoxiden machen und alternative Wege zur Reduktion dieser entwickeln. Im dritten Arbeitsblatt wird anknüpfend an den Versuch zur Photoreformierung der Herstellungsprozess von grünem Wasserstoff im Vergleich zu grauem Wasserstoff fokussiert. Unter Berücksichtigung verschiedener Positionen aus Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft sollen die Lernenden letztlich eigene Vorschläge zur Nutzung von Wasserstoff als Energieträger an fiktive politische Vertreter*innen richten.

Abb. 6 Ausschnitte aus den Materialien der didaktischen Reihe

Diese Reihe knüpft an eine Reihe von Vorarbeiten an: So sind basierend auf der Förderung der Leitlinie BNE in der *Chemiedidaktik Wuppertal* bereits Verlaufspläne für BNE-gerechte Themen des Chemieunterrichts sowie dazu passende Materialien und Einheiten publiziert worden [14].

Literatur

- [1] Bohrmann-Linde, C., Tausch, M.W. (2003). „Photogalvanic Cells for Classroom Investigations: A Contribution for Ongoing Curriculum Modernization“, *J. Chem. Educ.*, 80 (12), 1471-1473.
- [2] Bohrmann-Linde, C., Meuter, N., Zeller, D., Tausch, M.W. (2022). „Teaching Photochemistry: Experimental Approaches and Digital Media“, *ChemPhotoChem*, 6 (6), 1-11.
- [3] Artelt, K., Kutterhoff, F., Wilke, T., Waltz, T., Habekost, A. (2015). „Von der Bisphenol A-Problematik zur Photokatalyse. Ein Vorschlag zur Einführung photokatalytischer Reaktionen an Titandioxid im Chemieunterricht.“ *PdN-ChiS*, 64 (1), 25-28.
- [4] Behle, J., Lühken, A. (2015). „Wandfarbe gegen dicke Luft? Schulerperimentelle Untersuchungen zur Photokatalyse an Titandioxid.“ *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 26 (150), 27-31.
- [5] <https://www.tagesschau.de/wissen/gesundheits/titandioxid-eugh-101.html> (letzter Zugriff: 8.8.2023)
- [6] Venzlaff, J., Kosumi, K., Zeller, D., Bohrmann-Linde, C. (zur Publikation angenommen). „Education for Sustainable Development and Experiments involving Titanium Dioxide“, *WJCE*.
- [7] Zeller, D., Bohrmann-Linde, C. (2019). „Sommer Sonne Titandioxid“, *Nachrichten aus der Chemie*, 67(7-8), 16-19.
- [8] Zeller, D. (2020). Didaktische Erschließung von Titandioxid für den Chemieunterricht - Entwicklung und Optimierung von Experimenten, didaktischen Konzepten und Medien. Diss. Wuppertal.
- [9] Hassan, M. M., Dylla, H., Mohammad, L. N., Rupnow, T. (2010). „Evaluation of the durability of titanium dioxide photocatalyst coating for concrete pavement“, *Construction and Building Materials*, 24(8), 1456-1461.
- [10] Toma, F. L., Bertrand, G., Klein, D., Coddet, C. (2004). „Photocatalytic removal of nitrogen oxides via titanium dioxide“ *Environ Chem Lett*, 2(3), 117-121.
- [11] Erme, K., Raud, J., Jögi, I. (2018). „Adsorption of Nitrogen Oxides on TiO₂ Surface as a Function of NO₂ and NO₂O₅ Fraction in the Gas Phase“, *Langmuir*, 34(22), 6338-6345.
- [12] Kultusministerkonferenz (KMK) (2016). „Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung. Im Rahmen einer Bildung für nachhaltige Entwicklung.“ Hg. v. Engagement Global gGmbH. Online verfügbar unter https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2015/2015_06_00-Orientierungsrahmen-Globale-Entwicklung.pdf
- [13] Kultusministerkonferenz (KMK) (2017). Bildung in der digitalen Welt. Strategie der Kultusministerkonferenz, Online verfügbar unter: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/PresseUndAktuelles/2018/Digitalstrategie_2017_mit_Weiterbildung.pdf
- [14] <https://chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/de/unterrichtsmaterialien/bildung-fuer-nachhaltige-entwicklung/> (letzter Zugriff: 8.8.2023)

Download der Materialien



DIDAKTIK DER CHEMIE